

УДК 621.372

## ИЗМЕНЕНИЕ ЕМКОСТЕЙ ЛИНИЙ СВЯЗИ ВТОРИЧНОЙ СЕТИ

Г.И. Линец

(представил д.т.н., проф. В.И. Долгов)

Предложена методика оптимизации распределения ресурсов сети связи.

При решении задач управления структурой сети передачи данных (СПД) возникает задача оптимального распределения ресурсов СПД с целью обеспечения требуемого качества обслуживания ее абонентов. Поводом для выполнения функций управления структурой сети может служить такая ситуация, при которой за среднее время передачи сообщения по сети не обеспечивается требуемая пропускная способность, качество обслуживания абонентов, эффективность использования ресурсов сети.

В настоящее время разработано и широко используется достаточно много методов определения оптимального по выбранным критериям вектора емкостей линий связи: точные методы, предложенные в работе [1]; приближенные, позволяющие получать локальные оптимальные решения [2, 3, 4]; численные и эвристические методы, учитывающие специфику проектируемой сети [5]. Перечисленные методы для оптимизации объема ресурсов при управлении структурой сети не учитывают дискретный характер сетевых ресурсов и возможности первичной сети, на которой реализуется вторичная СПД. Ниже предложена методика оптимизации распределения ресурсов сети связи, свободная от этих недостатков. Используются следующие допущения: сеть состоит из  $N$  узлов и  $L$  линий связи. Сообщения, передаваемые между каждой парой смежных узлов, образуют поток сообщений. Топология сети и характеристики потоков, поступающих на обслуживание, известны. Для передачи каждого потока задается некоторое множество путей (маршрутов - кандидатов), из которого при передаче потока используется только один путь. Емкость линии связи конечна, а емкость накопителя в транзитных узлах СПД неограничена; процесс поступления сообщений в сеть имеет пуассоновское распределение. Задержка распространения по линии связи незначительна и при обработке в транзитных узлах сообщение не задерживается. Каждая линия связи имеет емкость  $C_l$  бит/с ( $l = \overline{1, L}$ ) и описывается однолинейной системой

© Г.И. Линец, 1998

массового обслуживания M/M/1. На каждую линию связи поступает пуассоновский поток сообщений интенсивности  $\lambda(l)$  бит/с ( $l = 1, L$ );  $\lambda(l) = \sum_{r \in \{n_l\}} \lambda_r$ , где  $\lambda_r$  - интенсивность  $r$  - го потока ( $r = 1, \dots, R$ ),  $\{n_l\}$  – множество потоков, использующих  $l$  - ю линию связи,  $R$  – число потоков, передаваемых по сети; длины сообщений имеют экспоненциальное распределение; ожидаемая длина сообщений -  $\frac{1}{\mu}$ .

Задержку на линии связи  $D(l)$  и использование линий связи [1] возможно определить  $D(l) = \frac{1}{\mu C_l - \lambda(l)} = \frac{1}{\mu C_l (1 - P_l)}$ ;  $P_l = \frac{\lambda(l)}{\mu C_l}$  ( $l = 1, \dots, L$ ). Сквозная задержка между каждой парой тяготеющих узлов определяется как взвешенная сумма ожидаемых задержек на линии связи. Среднюю величину задержки сообщения  $T$  в сети определяют [1, 3]:

$$T = \sum_{l=1}^L \frac{\lambda(l)}{\gamma} * D(l) = \sum_{l=1}^L \frac{\lambda(l)}{\gamma} * \frac{1}{\mu C_l - \mu(l)}, \quad (1)$$

или

$$T = \sum_{l=1}^L \frac{\lambda(l)}{\gamma} * \frac{1}{\mu C_l (1 - P_l)} = \frac{1}{\gamma} \sum_{l=1}^L \frac{P_l}{1 - P_l}, \quad (2)$$

где  $\gamma = \sum_{r=1}^R \lambda_r$  - суммарный поток, поступающий в сеть на обслуживание.

Для решения задачи изменения емкостей линий связи вторичной сети за счет перераспределения ресурсов первичной сети между абонентами СПД в кроссировочных узлах возможно использовать подход, разработанный в [6]. Он заключается в следующем. Сеть связи представляется в виде совокупности узлов вторичной СПД  $\{Z_i\}$  ( $i = 1, \dots, N$ ), где  $N$  – число узлов СПД и линий связи, соединяющих узлы СПД, образованных на базе каналов первичной сети путем их кроссирования в узлах кроссовой коммутации. На каждом узле СПД может быть образован локальный ресурс определенной емкости  $C(i) = C_{Zi}$  ( $i = \overline{1, N}$ ).

Из каждого узла СПД  $Z_i$  ( $i = 1, \dots, N$ ) может исходить  $g_i$  направлений (магистралей) и входить  $h_i$  направлений связи, по которым распределяется емкость  $C_{Zi}$ . Поэтому размерность кроссового коммутатора на

узле кроссовой коммутации составляет  $\eta^* \eta$ , где  $\eta$  - число входящих (исходящих) линий связи в коммутатор  $\eta = \sum_{i=1}^N g_i = \sum_{i=1}^N h_i$ .

Распределение емкостей  $C_{Z_i}$  по линиям связи СПД возможно определить матрицей  $\|n_{ij}\|$ , ( $i = 1, \dots, N_i$ ),  $n_{ij}$  - емкость линии связи ( $i, j$ ) между узлами  $Z_i$  и  $Z_j$ .

Для обеспечения максимальной пропускной способности СПД при изменении ситуации на сети необходимо перераспределить емкости  $C_{Z_i}$  так, чтобы

$$\sum_{j=1}^N n_{ij} = g_i Q_i = C_{Z_i} ; \sum_{i=1}^N n_{ij} = h_j Q_i = C_{Z_j}, \quad (3)$$

где  $Q_i(j)$  - емкость исходящего (входящего) направления узла  $Z_i(j)$ .

Требование (3) может быть удовлетворено, если найти такую матрицу  $M = \|m_{ij}\|$ ;  $i, j = 1, \dots, \eta$ , чтобы

$$\sum_{i \in A_k} \sum_{j \in B_l} m_{ij} = n_{kl}; \sum_{j=1}^{\eta} m_{ij} = Q_i; \sum_{i=1}^{\eta} m_{ij} = Q_j \quad (4)$$

где  $m_{ij}$  - целое неотрицательное число;

$A_k$  - множество исходящих направлений из узла  $Z_k$ ;

$B_l$  - множество направлений, входящих в узел  $Z_l$ .

Для нахождения матрицы  $M$  введем некоторую вспомогательную матрицу  $\Omega = \|\omega_{ij}\|$ ;  $i, j = 1, \dots, \eta$ , которая определяет состояние кроссировочного коммутатора. Элементы матрицы  $\Omega$  принимают значения 0 или 1:  $\omega_{ij} = 1$ , если направление, исходящее из узла  $Z_i$ , кроссируется с направлением, входящим в узел  $Z_j$ ; в каждой строке (столбце) этой матрицы только один элемент будет равен единице, остальные - нулю. Тогда распределение емкостей  $C_{Z_i}$  по линиям связи, удовлетворяющее условиям (3) и (4), определяется некоторым набором матриц  $\Omega$ :

$$M = \Omega_1 + \dots + \Omega_{C/m}, \quad (5)$$

где  $m$  - минимальный размер канального блока.

Для решения задачи оптимизации перераспределения ресурсов при изменении ситуации на сети используем минимаксный критерий. Таким образом, рассматриваемая задача заключается в нахождении распределения ресурсов по линиям сети связи (определении вектора емкостей линий

связи  $\{n_{i,j}\}; i, j = 1, \dots, N$ , при котором минимизируется максимальное значение коэффициента использования линии связи в сети). С учетом вышеизложенного запишем

$$\min_{i,j=1,\dots,N} \max \{P_{i,j}\}. \quad (6)$$

При условиях, что

$$1) \quad \sum_{j=1}^N n_{i,j} = C_{Z_i}; \quad \sum_{i=1}^N n_{i,j} = C_{Z_j} \quad (7)$$

2) задан вектор потоков, поступающих в сеть  $\{\lambda_r\}, r = 1, \dots, R$ , где  $R$  – число тяготеющих пар узлов в сети;

3) задан план распределения потоков в сети.

Величина  $P_{i,j}$  в (6) определяется как  $P_{i,j} = \frac{\lambda(i,j)}{\mu n_{i,j}}$ , где  $\lambda_{i,j}$  – суммар-

ный поток на линии связи, соединяющей узлы  $Z_i$  и  $Z_j$ , создаваемый всеми потоками, использующими данную линию в соответствии с заданным планом распределения потоков, а  $n_{i,j}$  – емкость данной линии связи.

Если оптимальный план по рассматриваемому критерию распределения потоков не задан, то возможно воспользоваться методом [7], обеспечивающим выбор одного пути из некоторого множества путей для обслуживания каждого потока, при котором минимизируется максимальное значение коэффициента использования линии связи СПД.

Введем ограничение. Предположим, что все  $C_{Z_i} = C, i = \overline{1, N}$ .

Алгоритм решения задачи оптимизации включает следующие операции:

1. Определить значения  $\{\lambda(i,j)\}, i, j = 1, \dots, N$  в соответствии с условиями 2, 3 (7).

2. Задать начальные значения вектора  $\{n_{i,j}^0\}; i, j = 1, \dots, N$ . В качестве начального значения возможно использовать величину  $n_{i,j}^0 = \{[\lambda(i,j)/m] + 1\}m$ , где  $m$  – емкость минимального блока ресурсов сети ( $m, [.]$  – целые неотрицательные величины).

3. Подготовить вспомогательную матрицу  $\Omega = \|\omega_{i,j}\|; i, j = 1, \dots, \eta$  (все элементы  $\omega_{i,j} = 0; i, j = 1, \dots, \eta$ ).

4. Вычислить значение коэффициента использования линии связи в сети

$$P_{k,l} = f\{\lambda(k,l), n_{k,l}\}; k, l = 1, \dots, N.$$

5. Из множества пар индексов, определяющих линии связи, выбрать пару  $(p, q)$ , соответствующую максимальному значению  $P_{p,q}$  из множества  $\{P_{k,l}\}$ ;  $k, l = 1, 2, \dots, N$ . Значение соответствующего элемента  $\omega_{pq}$  в матрице  $\Omega$  увеличить на 1 и перейти к п. 6, если при выполнении этой операции в каждой строке и в каждом столбце матрицы  $\Omega$  будет не более одного элемента, равного единице; в противном случае перейти к п. 3.

6. Вычислить новые значения по формуле:  $n_{p,q}^t = n_{p,q}^{t-1} + \omega_{pq}^t * m$ .

7. Проверить выполнение условия (7):

а) Если это условие не выполняется, перейти к п. 4;

б) Если условие выполняется, закончить вычисления.

Перераспределение емкостей линий связи, минимизирующее максимальное значение коэффициента использования линии связи, при изменении нагрузки СПД в процессе ее эксплуатации приводит к снижению средней величины задержки  $T$ . На рис. 1 представлена зависимость средней величины задержки от нагрузки сети (при условии, что  $\sum_{l=1}^L C_l = \text{const}$ ).

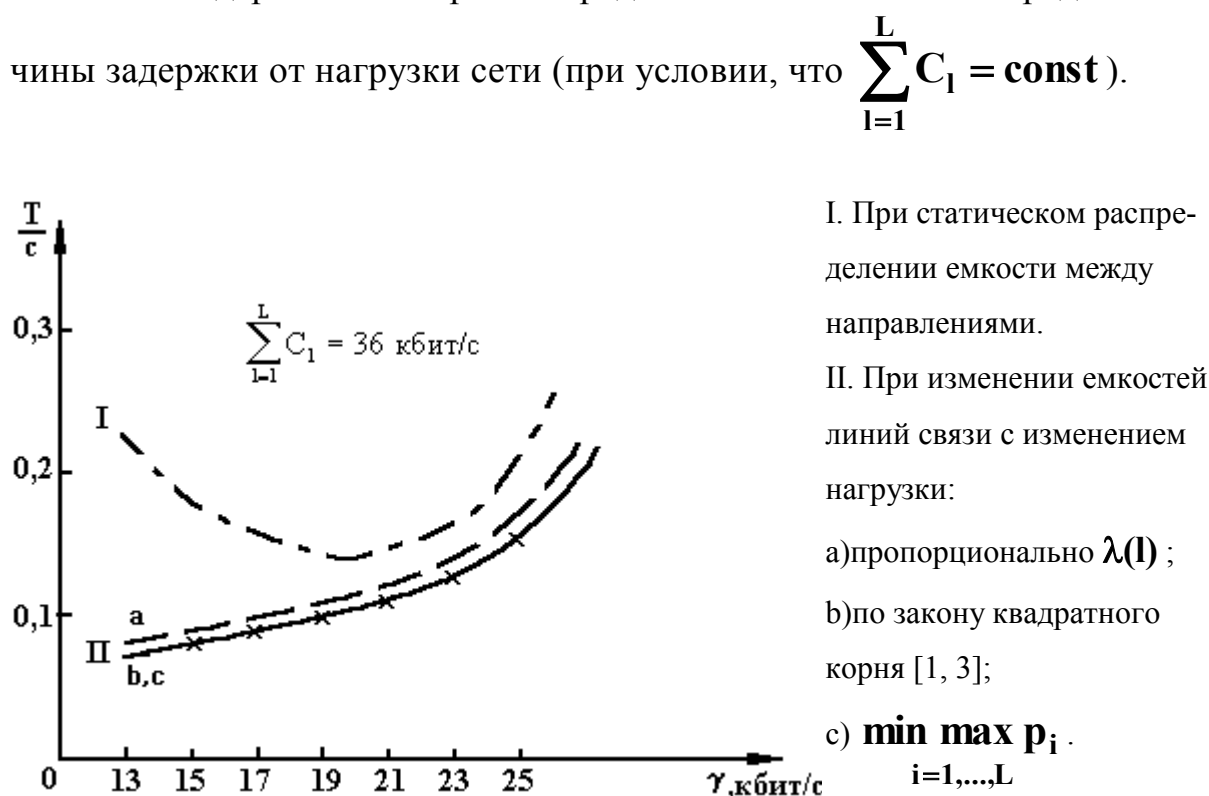


Рисунок 1 - Зависимость средней величины задержки от нагрузки сети

$$C_{\text{лопт}} = \frac{\lambda(l)}{\mu} + \frac{C_{\Sigma}(1 - P_{-p})\sqrt{\lambda(l)/\mu}}{\sum_{j=1, j \neq l}^L}; \quad P_{\text{ср}} C_{\Sigma} = \sum_{l=1}^L \lambda(l)/\mu, \quad (8)$$

где  $C_{\text{лопт}}$  - изменение емкостей линий связи по закону квадратного корня.

Как видно из рис.1 , перераспределение ресурсов сети при изменении ее нагрузки обеспечивает снижение средней величины задержки на сети по сравнению со статическим распределением. Кроме того, обеспечивается более равномерное распределение задержки по линиям связи. В этом случае мера равномерности распределения задержки  $F$ , определяемая в соответствии с [8] как

$$F = \frac{1}{T^2} \sum_{l=1}^L \frac{\lambda(l)}{\gamma} \{D(l) - T\}^2, \quad (9)$$

приблизительно равна нулю. Кроме того, распределение емкости по минимаксному критерию ( $\min_{i=1,...,L} \max p_i$ ) близко к распределению по закону

квадратного корня.

Преимуществами данного алгоритма по сравнению с существующими являются обеспечение перераспределения емкости ресурсов сети целочисленными блоками и учета кроссировочных возможностей первичной сети, на базе которой строится сеть связи.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Клейнрок Л. Вычислительные системы с очередями. т. II. - М.: Мир, 1979. - 600 с.
2. Gerla M., Kleinrock L. On Topological Design of Distributed Computer Networks // IEEE Trans. on Comm., v. 25, 1977, pp. 48 - 60.
3. Шварц М. Сети ЭВМ. Анализ и проектирование. - М.: Радио и связь, 1981. - 334 с.
4. Ng M.J.T., Hoang D.B. Joint Optimization of Capacity and Flow Assignment in a Packet Switched Communication Network // IEEE Trans. on Comm., v. 35, No. 2, 1987, pp. 202 - 210.
5. Мизин И., Богатырев В.А., Кулешов А.П. Сети коммутации пакетов. - М.: Радио и связь, 1986. - 408 с.
6. Mase K., Imase M. An Adaptive Capacity Allocation Schema in Telephone Networks // IEEE Trans. on Comm., v. 30, No. 2, 1982, pp. 354 - 359.
7. Tcha D., Maruyama K. On the Selection Primary Paths for Communication Networks. // Computer Networks and ISDN Systems, v. 9, No. 4, 1985, pp. 257 - 265.
8. Wong J.W., Sauve J.P., Field J.A. A Study of Fairness in Packet Switching Networks // IEEE Trans. on Comm., v. 30, No. 2, 1982, pp. 346 - 353.